건설폐기물 중간처리공정에서 발생되는 순환토사의 재활용 확대방안

Expanding Reuse Method of Recycling Soil Produced in Treatment Process of Construction Waste

강석표 Suk-Pyo, Kang
우석대학교 건축·인테리어디자인학과
교수
E-mail : ksp0404@woosuk.ac.kr

이원표 Weon-Pyo, Lee
한국건설자원협회
기획조정실장
E-mail : wplee93@naver.com

1. 서 론

2003년 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률이 제정된 이후 지속적으로 순환골재와 관련된 기술적 기준의 제·개정 작업이 이루어져 왔는데 특히 2005년에는 콘크리트용 순환골재를 비롯하여 13개 용도별 '순환골재 품질기준'을 국토교통부 장관이 제정 공고하였고, 2006년에는 '순환골재 품질기준'과 부합하기 위하여 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)이 개정되었다.

이로 인하여 2012년 건설폐기물 재활용 통계조사보고서에 의하면 건설폐기물 전체 발생량 67,863천톤/년 중에서 97.7%인 66,245천톤/년이 재활용 되는 것으로 조사되었다. 그러나 건설폐기물 현장 자체 재활용량 1,740천톤/년 중 62.2%인 1,083천톤/년을 폐콘크리트와 폐아스팔트콘크리트가 차지하고 있어 건설폐기물의 재활용이 폐콘크리트와 폐아스팔트콘크리에 편중되어 있음을 알 수 있다. 한편 건설폐토석은 건설공사 시 건설폐기물과 혼합되어 발생되는 것 중 분리, 선별된 흘, 모래, 자갈 또는 건설폐기물을 중간처리하는 과정에서 발생된 흙, 모래, 자락 등으로서 자연상태의 것을 제외한 것을 말한다. 2012년 건설폐기물 재활용 통계조사보고서에 의하면 1,858천톤/년이 발생되고 1,582천톤/톤을 재활용하여 재활용율이 85.1%로서 폐콘크리트과 폐아스팔트콘크리트와 비교하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

따라서 본 고에서는 그 동안 폐콘크리트와 폐아스팔트콘크리트와 비교하여 상대적으로 관심이 적었지만 건설폐기물 중간처리업체에서는 시급히 해결해야 할 당면과제로 대두되고 있는 순환토사의 재활용 확대 방안에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 순환토사의 개요

2.1 용어 정의

1) 건설폐토석

건설폐토석은 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」 시행령 제2조(건설폐기물의 종류)의 [별표 1]에서 건설공사에 발생되거나 건설폐기물을 중간처리하는 과정에서 발생된 흙·모래·자갈 등으로서 자연상태의 것을 제외한 것으로 정의되어져 있다.

2) 순환토사

기존「건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」에는 발생, 배출, 수집·운반, 보관 또는 처리하는 모든 과정에서 건설폐토석으로 통일되어져 있었다.

그러나 2013년 12월 11일에「건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」 시행령 제4조(순환골재 등의 재활용 용도) 3항이 개정되어 건설폐토석을 대통령령으로 정하는 기준과 방법에 따라 배출, 수집·운반, 보관 또는 중간처리를 적합하게 처리한 토사를 순환토사로 정의하고 있다.

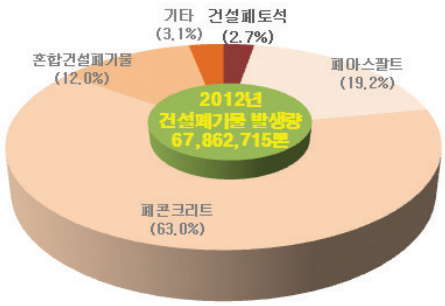


그림 1. 건설폐토석 발생량

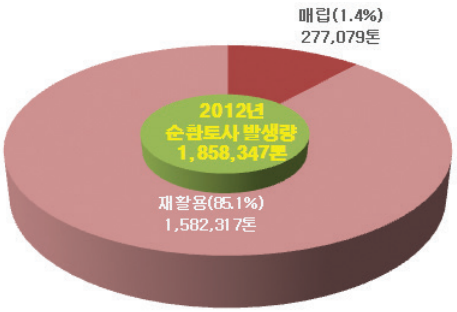


그림 2. 순환토사 처리현황

2.2 발생량 및 처리현황

환경부 2012년도 건설폐기물 재활용 통계조사보고서에 의하면 전체 건설폐기물은 〈그림 1〉에 나타낸 바와 같이 67,862,715톤/년이 발생되고 이 중에서 건설폐토석은 1,858,347톤/년이 발생됨으로서 전체 건설폐기물 발생량 중에서 2.7%를 차지하고 있다. 이는 건설폐기물 중에서 폐콘크리트 42,734,928톤/년(63.0%), 폐아스팔트 13,032,450톤/년(19.2%), 혼합 건설폐기물 8,129,666톤/년(12.0%)에 이어 네번째로 많은 양이 발생되고 있다.

순환토사의 처리현황은 재활용이 1,582,317톤/년으로서 85.1%를 차지하고, 매립이 277,079톤/년으로서 14.9%를 차지하고 있어 건설폐기물 재활용율 97.6%와 비교하여 상대적으로 저조하게 재활용되고 있다는 것을 알 수 있다. 순환토사의 재활용 용도로는 성·복토용이 64.8%, 기타 용도가 35.2%로서 재활용 용도가 건설공사용 성·복토용으로 한정되어져 있는 것을 알 수 있다. 이로 인하여 재활용되지 못하고 있는 순환토사가 건설폐기물 중간처리업체 사업장내에 야적되어져 있는 모습을 [그림 3]에 나타었다.

2.3 재활용 용도

순환토사의 재활용 용도는「건설폐기물 재활용 촉진에

그림 3. 재활용되지 못하고 야적되어져 있는 순환토사

관한 법률」 시행령 제4조(순환골재 등의 재활용 용도)에서 다음과 같이 규정하고 있다.

- 관계 법령에 따라 인·허가된 건설공사의 성토용 또는 복토용
- 「폐기물관리법」 제29조 제1항에 따라 설치된 폐기물처리시설 중 매립시설의 복토용
- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제53조 제3호에 따른 성토용(농지개량을 위한 성토의 경우 「농지법 시행령」 제2조 제3항에 따른 시설을 설치하기 위한 경우에 한함)

3. 순환토사 선별처리 시스템 및 품질현황

국내 순환토사에 관한 연구는 기존의 순환골재와 비교하여 거의 전무한 실정으로 순환토사의 선별처리 시스템 및 품질현황에 관한 체계적인 연구가 진행되지 못한 실정이다. 그나마 순환토사에 관한 연구로서 2010년 12월에 한국건설기술연구원에서 수행된 「건설폐토석의 재활용 방안 연구」가 있는데 여기에서 순환토사의 선별처리 시스템 및 품질현황에 관하여 조사한 결과를 정리하면 다음과 같다.

3.1 순환토사 선별처리 시스템

1) 파쇄횟수

건설폐토석에서 순환토사를 생산하는 공정에는 조크러셔 등과 같은 파쇄공정이 들어가는 공정이 있고, 파쇄공정이 들어가지 않는 공정으로 구분된다.

파쇄공정이 들어가지 않는 공정은 22%. 1차 파쇄 후에 순환토사가 생산되는 공정은 약 77%를 차지하고 있다.

2) 이물질

건설폐토석에서 순환토사를 생산하는 공정에는 인력을 포함하여 자력, 송풍 등의 이물질 제거 공정들이 적용된다. 국내 순환토사 생산시 적용되는 이물질 분리·선별공정은 0회 10%, 1회 17%, 2회 이상이 73%를 차지하는 것으로 나타났다.

3) 스크린 망크기

일반적으로 건설폐기물에는 폐콘크리트, 토사, 목재, 이물질이 혼합되어 있는데 이 중에서 토사를 별도로 분리·선별하기 위해서는 스크린 공정이 적용되어야 한다. 이중에서 가장 많이 사용하는 망의 크기는 20mm를 넘는 업체가 전체의 절반에 해당하는 49%로 나타났고 15~20mm이하의 업체가 25%, 15mm이하의 망 크기를 사용하는 업체가 약 26%로 나타났다.

3.2 순환토사 품질현황

전국 5개 건설폐기물 중간처리업체에 반입된 건설폐토석으로부터 생산된 순환토사를 채취하여 이에 대한 물리적 성질과 환경성 분석을 실시하였다. 환경성 분석에는 폐기물 공정시험방법과 토양오염공정시험을 실시하였다.

1) 물리적 특성

순환토사의 물리적 특성평가 결과는 [표 1]과 같다.

[표 1] 건설폐토석(순환토사)의 물리적 특성평가 결과

구분	시험방법	시험결과				
		K사	M사	D사	S사	N사
골재 최대 치수 (100mm 이하)	KS F 2502	10	13	5	13	10
5.0mnm 통과율(%)	KS F 2502	78	65	90	65	89
0.08mm 통과율(%)	KS F 2301 KS F 2309	8.9	15.9	12.2	8.3	14

구분	시험방법	시험결과														
		K사			M사			D사			S사			N사		
마모감량(%)	KS F 2508	30.4			25.0			38.1			34.2			28.7		
모래당량(%)	KS F 2340	44			33			35			49			32		
소성지수(PI,%)	KS F 2303	N.P			N.P			N.P			N.P			N.P		
액성한계(%)	KS F 2303	N.P			N.P			N.P			N.P			N.P		
수정CBR(%)	KS F 2320	24.2			22.8			32.8			42.4			28.9		
다짐후 건조밀도 (g/cm^3)	KS F 2312	1.774			1.782			1.807			1.811			1.757		
이물질 함유량(%) 유기이물질	KS F 2576	0.54			0.71			0.47			0.43			0.65		
pH	폐기물공정 시험방법	초기	10분	30분	초기	10분	30분	초기	10분	30분	초기	10분	30분	초기	10분	30분
		10.9	10.9	10.3	10.9	10.8	10.3	11.1	10.9	11.1	11.0	11.2	11.2	10.5	10.7	10.7

[표 2] 순환토사의 폐기물 공정시험결과

기준항목			유해물질 함유기준[1](단위 : mg/ℓ)		폐기물 공정시험 결과				
항목명	기호	단위	오니류등	광재등	K사	M사	D사	S사	N사
시안	CN^-	mg/ℓ	1.0	1.0	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
구리	Cu		3.0	3.0	0.078	0.053	0.029	0.049	0.049
카드뮴	Cd		0.3	0.3	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은	Hg		0.005	0.005	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
유기인	–		1.0	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
비소	As		1.5	1.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
납	Pb		3.0	3.0	불검출	0.05	불검출	0.09	불검출
6가크롬	Cr^{6+}		1.5	1.5	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	TCE		0.3	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	PCE		0.1	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
기름성분	–	%	중량비 5	–	1.377	2.463	0.050	0.192	0.297
pH(20℃)	pH	–	기준없음		11.6	11.0	12.2	11.3	10.2
검토결과					적합	적합	적합	적합	적합

1) 폐기물관리법 시행규칙 [별표 1] 지정폐기물 유해물질 함유기준

2) 환경성 분석

순환토사의 폐기물 공정시험방법에 의한 결과는 [표 2]에, 토양오염공정시험에 의한 결과는 [표 2]에 나타내었다.

4. 순환토사 활용가능 용도개발

4.1 농지개량용으로의 적합성 검토

순환토사의 농지개량용으로의 적합성을 검토한 연구결과물로서 2008년 11월에 한국건자재시험연구원에서 실시한 「순환토사의 농지개량 적합성 및 최적 활용방안 마련을 위한 연구」의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 순환토사와 관행농토의 혼합사용

순환토사와 관행농토를 각기 다른 배합으로 혼합한 후 각 5가지 조건별 배합으로 혼합한 순환토사와 관행농토

(a) 100:0 (b) 75:25 (c) 50:50 (d) 25:75 (e) 0:100

그림 4. 정식 30일 후 배추 생육상황((a)~(e) : (좌 : 순환토사, 우 : 관행농토))

[표 3] 순환토사와 관행농토의 혼합비율에 따른 토양분석 결과

배합비율 (순환토사 : 관행농토)	산도(1:5)	전기 전도도 (ds/m)	유기물 함량(g/kg)	가용 P_2O_5 (mg/kg)	가용 P2O5(mg/kg)			질산태질소 NO_3–N(mg/kg)
					K	Ca	Mg	
100:0	10.9	2.91	1.08	16	0.96	55.09	0.76	1.3
75:25	10.2	2.45	1.38	29	0.84	42.08	0.77	2.8
50:50	9.9	2.01	1.59	48	0.78	36.00	0.81	3.7
25:75	9.2	1.42	1.48	143	0.66	24.32	0.83	4.0
0:100	7.7	0.59	1.43	296	0.60	11.83	0.79	5.1
적정 토양기준	6.0~7.0	0~2.0	20~35	250~500	0.40~0.70	5.0~7.0	1.5~2.5	70~300

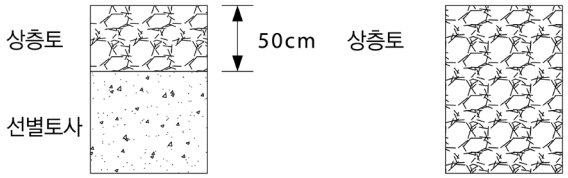
에 대해 작물에 대한 생육영향을 시험하여 농업적 활용가능성을 확인하고자 하였다.

그 결과 배추 정식 30일차 조사 시 〈그림 4〉에 나타낸 바와 같이 순환토사 : 관행농토의 비율 100:0, 75:25, 50:50의 처리구에서 관행농토 처리구에 비해 순환토사의 사용비율이 증가할수록 생육장해에 대한 유의성이 나타났다.

2) 하층토 치환 사용

〈그림 5〉와 같이 식생대층(상층토)을 50cm를 걷어내 별도로 보관하고, 하층토 부분은 순환토사로 치환 후 걷어낸 상층토를 복토하여 생육분석을 하는 방식으로 했다.

그 결과 〈그림 6〉에 나타낸 바와 같이 10일차, 20일차, 30일차에서 모두 생육 차이에 대한 유의성이 나타나지 않았다.

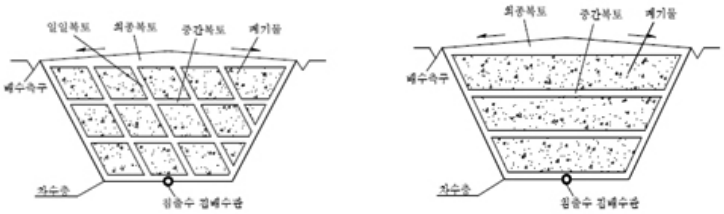


(a) 순환토사로 하층토 치환 (b) 관행농토

그림 5. 순환토사의 하층토 치환 비교

(a) 순환토사 하층토 치환 (b) 관행농토

그림 6. 30일 후 배추 생육 결과



(a) Cell 방식 (b) Sandwitch 방식

그림 7. 매립방식

타낸 바와 같이 Cell 방식과 Sandwich 방식으로 구분되는데, 수도권 제2매립장의 경우 1일 매립량에 따른 사면부의 노출면적이 넓어 사면 노출 시 주변 환경에 대한 악영향이 예상되므로 폐기물 노출지점을 최소화할 수 있는 Cell 방식을 선정하였다.

4.2 매립지 복토용으로의 적합성 검토

수도권 매립지 복토용 재료를 검토한 수도권매립지관리공사의 제2매립지 실시설계 공사시방서 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 복토 기준

매립지의 복토기준은 폐기물관리법 시행규칙 제42조제1항 [별표 11] 폐기물처리시설의 관리기준에 제시되어져 있으며 그 중에서도 일일복토 및 중간복토에 대해서 규정하고 있다.

매립작업이 끝난 후 투수성이 낮은 흙, 고화처리물 또는 건설폐재류를 재활용한 토사 등을 사용하여 15cm 이상의 두께(화학복토재 등 인공복토재를 사용하는 경우 에는 환경부장관이 정하여 고시하는 두께)로 다져 일일복토를 하여야 하며, 매립작업이 7일 이상 중단되는 때에는 노출된 매립층의 표면부분에 30cm 이상의 두께로 다져 기울기가 2% 이상이 되도록 중간복토를 하여야 한다.

2) 복토 방식

폐기물 매립시 복토는 매립된 폐기물의 외부노출을 방지하여 폐기물의 비산 및 유출방지, 폐기물로부터의 악취 발산방지, 각종 해충 서식 방지, 우수의 침투방지 등 위생매립의 조건이다.

복토방식은 매립장의 1일 매립용량, 매립장 폭의 협소정도 및 폐기물의 노출면적 등을 고려하여 〈그림 7〉에 나

3) 복토용 재료 검토

① 내부지반토

수도권 제2매립장의 각 공종별 내부지반토 활용성 검토를 해본 결과 중간복토공의 경우 수도권 제3매립장 예정부지 발생 내부지반토는 오랜 기간 유수에 의해 퇴적된 미립자의 점토성분으로 그 특성이 매우 민감하여 약간의 교란에도 함수비 또는 점토구조의 변화가 심하여 성토재로 활용하기에는 적합하지 않다.

② 고화 복토재

고화복토재를 토질 역학적 특성을 근거로 장기 및 단기 허용지지력을 검토한 결과, 장기 및 단기 주행안정성은 확보되는 것으로 검토되었으나 이론식에 의한 방법으로 고화복토재의 적용성을 판단하는 것은 실제현장조건과 상이한 결과가 도출될 가능성이 있으므로 차량 주행성 시행 후 변형량 검토를 통한 지지력 검토 수행 후 고화복토재를 적용하여야 할 것으로 판단된다.

③ 인공 복토재

인공 복토재는 폐기물관리법상 사용이 가능하며 현재 수도권 제2매립장의 복토재로 활용하고 있는 일반토사와 비교해 매립용량 확보 및 토사 대체 측면, 신속한 복토가 가능해 시공성 측면에서는 장점은 있으나, 국내 시공실적이 없으며 활용 가능한 신기술 보유업체가 없어 현 단계에서는 복토재로의 활용은 어려울 것으로 판단된다.

④ 순환골재

매립시설의 복토재 재료원으로 순환골재 사용이 가능하며, 품질기준으로서 매립시설의 복토용으로 사용하는 순환골재는 폐기물관리법 시행규칙 제2조(지정폐기물의

유해물질 함유기준 등)에서 규정하는 기준에 적합하여야 한다.

5. 순환토사의 재활용 확대를 위한 개선안

순환토사의 품질은 선별위치에 따라서 크게 차이가 나타나며 이는 중간처리 공정 중 최초 파쇄장치인 죠크러셔 파쇄하기 전에 선별된 순환토사와 죠크러셔 파쇄된 후에 선별된 순환토사를 나타낸 〈그림 8〉에서 알 수 있는 바와 같이 파쇄전의 순환토사는 일반토사와 유사하지만 파쇄 후의 순환토사에서는 파쇄된 폐콘크리트가 육안으로 확인가능하다.

따라서 순환토사의 재활용 확대를 위해서는 최초 파쇄장치인 죠크러셔 통과 전을 순환토사(가칭)로 하고 통과 후를 순환토사(기존)로 구분하여 선별 및 품질관리를 행함으로서 각각의 용도를 확대하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 순환토사 및 선별토사의 차이점 및 재활용 방안을 정리하여 [표 2.20]에 나타내었다. 선별토사의 경우 최초 죠크러셔 파쇄 전에 건설폐기물로부터 선별되어진 토사이기 때문에 일반토사와 유사한 성질을 가지고 있어 기존의 건설폐토석 또는 순환토사와는 별개의 개념으로서 폐기물이 아닌 일반토사로의 인식의 전환이 필요하다.

또한 이를 보완하여줄 충분한 연구자료 및 데이터를 확보한 후 관계부처와의 협의를 거쳐 현재까지 순환토사가 활용하는데 제약이 되고 있는 농지법 또는 산지관리법 등에서 순환토사와 관련된 조항에 대한 개정을 통해 일반토사와 동일한 용도로 확대 가능할 것으로 사료된다. 한편 순환토사는 최초 죠크러셔로 파쇄된 후에 폐콘크리트와 같은 건설폐기물과 혼합된 토사로서 기존 순환토사의 품질기준 및 재활용 용도와 동일한 것으로서 현행의 관련법에 따라서 재활용할 수 있을 것으로 사료된다.

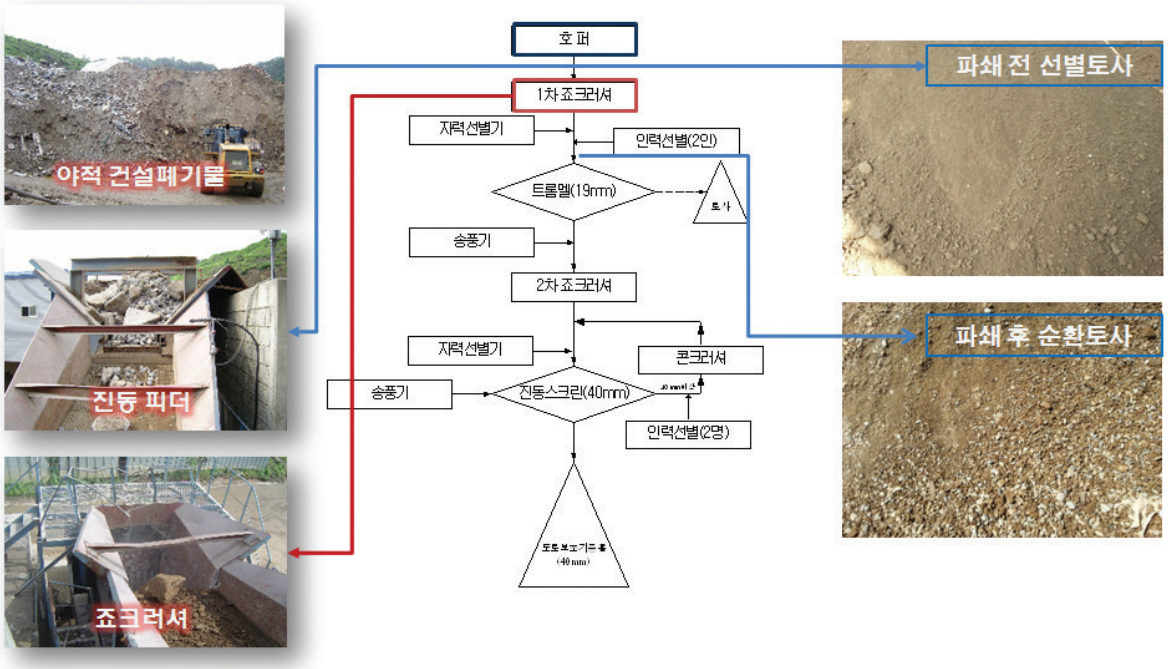


그림 8. 순환토사 선별시스템에 의한 분류(안)

[표 4] 선별토사와 순환토사의 비교

용어	선별토사(가칭)	순환토사(기존)
선별 위치	1차 죠크러셔 파쇄 전	1차 죠크러셔 파쇄 후
용어 설명	건설폐기물에서 선별되어진 토사	파쇄된 건설폐기물이 혼합된 토사
주요 성분	일반 토사 (양질 토사)	건설폐기물 혼합 토사
pH	중성	알카리성
품질관리	중요	용이
관계법령	개정 필요	기존 법령
특징	– 일반 토사와 유사한 물성 – 선별량이 적음 – 스크린망 치수에 따라 물성 차이 – 별도 야적장소 필요 – 관계 부처와의 협조 필수 – 폐기물이 아닌 토사로서의 인식 – 별도의 품질관리 기준 마련 필요	– 폐콘크리트 등이 혼합 – 선별량이 많음 – 파쇄 횟수에 대한 영향 – 대량의 야적장소 필요
활용용도	– 경작지 성토용 – 산지 복구용 성토재 – 일반 토사 활용 용도로의 확대	– 기존 순환토사 활용용도(건설공사 성토용, 복토용 등)

6. 결 론

순환토사는 2012년에 1,766,055톤/년이 발생되어 건설폐기물 중에서 폐콘크리트, 폐아스팔트, 혼합 건설폐기물에 이어 네번째로 많은 양이 발생되고 있다. 그러나 재활용이 1,561,689톤/년으로서 88.4%를 차지하고 있어 건설폐기물 재활용율 98.1%와 비교하여 상대적으로 재활용되지 못하고 있으며, 순환토사는 건설폐기물중간처리업체 사업장에서 시급하게 해결해야 할 당면과제로 대두되고 있다.

이와 같은 현실을 반영하여 2013년 12월 11일에 「건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」 시행령을 개정하여 건설폐토석이 대통령령으로 정하는 기준과 방법에 따라 배출, 수집·운반, 보관 또는 중간처리 되어지면 순환토사로 정의하여 건설폐토석의 재활용을 촉진하기 위한 기반을 마련하였다. 그러나 그동안 순환토사 재활용에 대한 관·산·학의 관심부족과 체계적인 연구가 제대로 이루어지지 못하고 있어 순환토사가 가지고 있는 물리적 특성과 유해물질이 함유기준 이내에도 불구하고 재활용 용도가 지극히 한정되어져 있는 것이 사실이다.

따라서 순환토사의 기존 재활용 용도이외에 새로운 재활용 용도를 확대하기 위해서는 건설폐기물 중간처리 시설의 최초 파쇄기 전후에 각각 선별하여 품질을 관리하고 활용용도를 확대하는 등의 대내외적인 신뢰성을 확보하기 위한 관련업계 뿐만 아니라 학계에서도 체계적이고 지속적인 관심과 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 건설폐토석(선별토사)의 재활용 방안 연구, 2010. 12
2. 한국건자재시험연구원, 순환토사의 농지개량 적합성 및 최적 활용 방안 마련을 위한 연구, 2008. 11
3. 수도권매립지관리공사, 제2매립장 매립작업 및 부대공사 7단 실시설계 공사시방서, 2011. 10
4. 수도권매립지관리공사, 수도권매립지통계연감, 제11호, 2013
5. 환경부, 제4차 전국폐기물통계조사, 2013. 3
6. 신은철 외, 건설폐토석의 성토에 따른 지반환경적 영향, 한국지반환경공학회 논문집, 제12권 제12호, 2011. 12, pp. 21~30
7. 윤용한 외, 식재용토 재활용을 위한 건설폐토석의 개량방안 연구, 한국녹지환경디자인학회지, 제3권 제1호, 2007. 5, pp. 27~33
8. 김원태 외, 건설폐토석의 식재용토로서의 이화학적 특성, 한국환경복원녹화기술학회지, 제10권 제5호, 2007. 10, pp. 31~39